



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

RAKENNUSKAIVANNON RAKENTAMINEN

Dipl.ins. Markku Tuhola

Artikkeli käsittelee luiskattujen ja tuettujen rakennuskaivantojen rakentamista, kaivantotöiden työturvallisuutta ja kaivannon suunnitellun toiminnan varmistavia toimenpiteitä.

1 YLEISTÄ

Tehtäessä valintaa luiskatun tai tuetun kaivannon välillä on otettava huomioon ympäristön rakennukset ja rakenteet sekä puusto. Toisin sanoen on tarkasteltava, onko käytettävissä riittävästi tilaa rakentaa kaivanto luiskattuna. Lisäksi on otettava huomioon pohjasuhteet ja pohjavesisuhteet, joskus myös työmaan järjestelyt ja aina työturvallisuuskysymykset.

1.1 Ympäristö

Valinnan luiskatun tai tuetun kaivannon välillä ratkaisee yleensä käytettävissä oleva rakennusalue. Kaivannon on aina luiskineen ja rakenteineen sovittava rakennuttajan hallinnassa olevalle tai luvanvaraisesti käyttöönsä saamalle alueelle.

Suunniteltaessa kaivannon tekemistä luiskatuna tulee varmuuden sortumista vastaan olla Pohjarakennusohjeiden 1988 (RIL 121) mukainen, kun otetaan huomioon rakennuskaivannon luiskissa tai luiskien yläpuolella olevat rakenteet sekä työturvallisuuskysymykset. Kaivannon rakentamisen luiskattuna voi estää tarve varjella ympäristöä tai se, että luiskan ulottamiselle tontin ulkopuolelle ei ole saatu lupaa.

Jos em. seikkojen perusteella päädytään tuetun kaivannon rakentamiseen, on kaivannon tyyppi valittava siten, etteivät itse tukiseinän tai sen rakentamisen aiheuttamat liikkeet maaperässä ja siirtymät tukiseinän käytön aikana aiheuta vaurioita lähiympäristössä oleville tai kaivantoon tuleville rakenteille.

1.2 Pohjasuhteet

Ympäristöriskien toteutumismahdollisuudet ovat sitä todennäköisempiä, mitä huonompiin pohjasuhteisiin syviä kaivantoja rakennetaan.

Kaivantotyyppin valintaan voivat vaikuttaa pelkästään vallitsevat pohjasuhteet, koska syvien kaivantojen rakentaminen pehmeikölle ei onnistu ilman tuenta. Erilaisiin pohjaolosuhteisiin soveltuvia tukiseinätyyppejä ja tuentatapoja esitetään kohdassa 3 Tuetut kaivannot.

1.3 Pohjavesisuhteet

Rakennuskaivannon kaivun ulottuessa alimman pohjavedenpinnan alapuolelle tai kaivantoon tulevan rakennuksen pysyvän kuivatusjärjestelmän kuivatustason ulottuessa keskimääräisen pohjavedenpinnan alapuolelle on pohjarakennussuunnitelmaan sisällytettävä selvitys pohjavedenpinnan muutoksista ja näiden vaikutuksista lähiympäristöön.

Selvitystä tehtäessä on määritettävä pohjaveden alenemisen vaikutusalue ja pohjaveden alenemisen vaikutus alueella sijaitseviin rakenteisiin. Jos ympäristöriskien pienentämiseksi on rajoitettava luonnollisesti tapahtuvaa veden virtausta, on suunnitelmassa esitettävä toimenpiteet, joilla suotovesien määrää voidaan rajoittaa hyväksyttäviin pumppausmääriin. Samoin jos joudutaan järjestämään pohja- tai orsiveden korvausta, on korvaustapa esitettävä suunnitelmasa.

Rakennustyön aiheuttamaa työaikaista pohjaveden alenemista voidaan rajoittaa tukiseinätyypin valinnalla. Työaikaainen kuivanapitotapa vaikuttaa tukiseinän mitoitukseen. Sen vuoksi kuivanapitotavasta on päätettävä samanaikaisesti tukiseinätyyppejä valittaessa.

Rajoitettaessa pohjavedenpinnan pysyvää alenemista voidaan pohjavedenpinnan alapuoliset rakenteet tehdä vedenpaine-eristettyinä. Näissä tapauksissa on kuivatustaso syytä sijoittaa mahdollisimman ylös. Pohjavedenpinnan pysyvää alenemista voidaan lisäksi rajoittaa katkaisemalla veden virtaus vettäläpäisevissä maakerroksissa ponttiseinillä, bentoniittihiekka- ja savisuluilla tai injektioimalla. Joskus on syytä rakentaa korvausvesijärjestelmä pohjavedenpinnan pitämiseksi riittävän korkealla.

1.4 Työmaan järjestelyt

Kaivu- ja louhintamassojen poiskuljettamiseksi on kaivantotyömaalle rakennettava raskaiden ajoneuvojen kuormitusta kestävä työmaatie. Jos kaivannon reunalle sijoitetaan nostureita, työmaateitä, varastoalueita, työmaakoppeja tai muita kuormittavia rakenteita, on niiden aiheuttama kuormitus otettava kaivannon mitoituksessa huomioon. Myös kaivannon reunalla liikkuvien rakennuskoneiden aiheuttamat kuormitukset on huomioitava mitoituksessa.

1.5 Kaivannon tilantarve

Kaivantoon tulevat rakenteet määrittävät kaivannon tilantarpeen. Rakenteiden vaatiman tilan lisäksi on otettava huomioon kokonaistilantarvetta arvioitaessa työskentelytilat kaivantorakenteiden ja kaivantoon tulevien rakenteiden välissä.

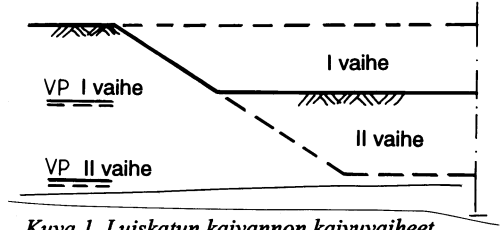
Kaivantoon rakennettavia rakenteita ovat perustukset (anturat), alapohjat ja kellarin seinät sekä myös maarakennekerrokset, esimerkiksi massanvaihdot, anturoiden ja alapohjan alustäytöt sekä salaoituskerrokset. Kaivannon tilantarpeeseen vaikuttavat lisäksi kaivantoon tulevat putkijohdot ja kaivot. Kaivussyvyys määräytyy em. kaivantoon tulevien rakenteiden perusteella eikä esimerkiksi kellarin alimman lattian alapinnan tason mukaan.

Kaivannon tilantarpeeseen vaakasuunnassa vaikuttavat paitsi kaivantoon tulevat rakenteet ja niiden tarvitsemat muottirakenteet niin myös tukiseinärakenteen tuennan (esim. tasauspalkin) tarvitsema tila ja työskentelytilat sekä perusmuurin vierustäytöt. Kaivannon tarvitsemaa tilaa voidaan pienentää tekemällä tukiseinät kivi- tai betonipaluu- tai kaivantoseinänä. Ne voivat toimia tällöin myös tulevan rakennuksen perustuksena ja kellarin seinärakenteena. Tukiseinätyypin valinta vaikuttaa merkittävästi kaivannon tilantarpeeseen. Jos kaivannon tukemiseen käytetään työn jälkeen poistettavia tukiseiniä, on kaivannon tilantarve selvästi suurempi kuin pelkästään kellarin seinien vaatima tilantarve.

2 LUISKATUT KAIVANNOT

Pääsääntöisesti pyritään matalat kaivannot tekemään luiskattuina. Luiskatun kaivannon tilantarve määräytyy vakavuuslaskelmien perusteella. Vakavuuslaskelmissa tulee huomioida tarkasteltavan liukupinnan sisäpuolella vaikuttavat kuormitukset sekä kaikki luiskan ja kaivannon ympäristön stabiliteettia mahdollisesti heikentävät tekijät, kuten pohjaveden korkeusvaihtelu, pohjaveden suotvirtaus, huokospaineen nousu, esimerkiksi paalutuksen johdosta, ja pohjamaan häiriintyminen paalutuksen aiheuttamien siirtymien tai tärinän johdosta. Tukeutumattoman kaivannon vakavuuteen vaikuttavat lisäksi myös ns. ”ulkoiset” tekijät, kuten kaivannon mitat, kuormitukset, työtavat, sääolosuhteet sekä ajanjakso, jonka kaivanto on auki.

Työnäikainen luiskattu kaivanto on mitoitettava niin, että varmuus luiskan sortumista ja kaivannon hydraulista murtumista vastaan eri työvaiheissa on riittävä ja että siirtymien ja painumien ympäristölle aiheuttamat liikkeet pysyvät sallituissa rajoissa.



Kuva 1. Luiskatun kaivannon kaivuvaiheet.

2.1 Kaivuvaiheet

Luiskattu kaivanto kaivetaan vakavuuslaskelmin todetuissa kaivuvaiheissa. Kaivannon luiskat kaivetaan suunniteltuun kaltevuuteen aina sitä mukaa kuin kaivu etenee syvemmälle. Mikäli kaivantoluiskia on tarpeen tukea tai suojata eroosiolta, tuenta ja suojaus tehdään aina vaiheittain ennen kaivun ulottamista syvemmälle. Jos kaivantoluiskien työnäikäinen vakavuus varmistetaan pohjaveden alennuksella, on huolehdittava siitä, että pohjavedenpinnan taso on riittävästi kulloisenkin kaivutason alapuolella (kuva 1).

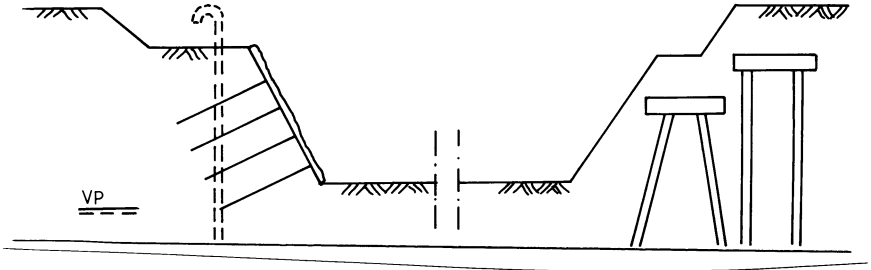
2.2 Kaivantoluiskien tukeminen

Luiskien stabiliteettia voidaan parantaa suunnittelemalla ja toteuttamalla seuraavat toimenpiteet (kuva 2):

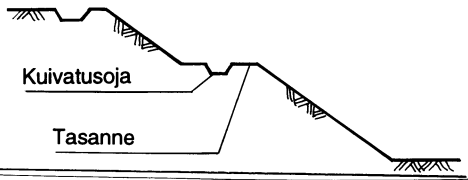
- kevennysleikkaus luiskan yläosassa
- pohjavedenpinnan alentaminen
- luiskassa suoritettu massanvaihto
- luiskan paalutus
- luiskan tukeminen pilari- ja/tai massastabiiloinnilla
- luiskan tukeminen maan naulauksella ja ruis-kubetonoinnilla
- luiskan jäädyttäminen.

2.3 Kaivantoluiskien suojaus eroosiolta

Luiskat on suojattava sekä pinta- että pohjavesien aiheuttamalta eroosiolta. Lyhyissä luiskissa pintavesien aiheuttama eroosio voidaan estää tekemällä kuivatusoja tai pato luiskan yläreunaan ja johtamalla pintavedet pois kaivannon alueelta. Pitkissä kaivantoluiskissa voi olla tarpeen tehdä luiskiin tasanteita ja kaivaa tasanteille oja, joihin kertyvät vedet johdetaan pumpauskaivoihin ja pumpataan edelleen pois. Pitkään kaivettuna olevien kaivantojen luiskat voidaan lisäksi peittää verhouksella. Verhouksena voidaan käyttää muovikelmuja ja murskettä (kuva 3).

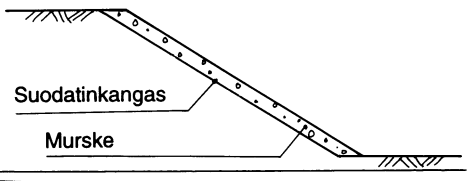


Kuva 2. Kaivantoluiskan tukemismuutoksia.



Kuva 3. Kaivantoluiskan ojittaminen.

Kun kaivannon kaivu ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle, tapahtuu luiskassa pohjavesierosiota alueella, jossa suotovesi tulee ulos luiskasta. Tämä luiskan osa tulisi aina suojata eroosiolta samoin kuin kuivatusojat ja pumppukuopat. Eroosiosuojauks voidaan rakentaa sorasta, murskeesta, pienlouheesta tai sepelistä. Eroosiosuojusmateriaali tulee valita siten, että suojattavan ja suojaavan materiaalin välillä toteutuvat suodatinkriteerit. Jos luiskan tukitötön suodatinkriteerit eivät muuten täyty, on tukikerroksen alle rakennettava suodatinkerros tai asennettava suodatinkangas. Tiiviin verhouksen, esimerkiksi betonin tai asfalttibetonin, alle tulee aina rakentaa suodatinkerros (kuva 4).



Kuva 4. Kaivantoluiskan eroosiosuojauks.

Pohjaveden eroosiovaikutusta voidaan vähentää alentamalla pohjaveden pintaa siiviläputkilla. Tapauksissa, joissa rakennuskaivanto voidaan tehdä luiskattuna (stabiileetti riittävä), mutta pohjavedenpintaa ei voida alentaa, on kaivannon ympärille rakennettava tiivistysseinät teräsponteista tai stabilointipilareista. Tiivistysseinä on rakennettava etäälle kaivannosta, jotta seinän edessä kaivannon puolella olisi tarpeeksi maata (passiivipaine) pitämään seinä pystyssä.

Tiivistysseinän stabiileetti on tarkastettava laskelmin.

2.4 Kaivannon kuivanapito

Jos rakennuskaivannon alueella alennetaan pohjavedenpintaa siiviläkärjillä tai pumppauskaivoista pumppaamalla, on huolehdittava siitä, että vedenpinnan taso on aina riittävästi kulloisenkin kaivutason alapuolella. Tällä toimenpiteellä varmistetaan se, että kaivannon pohja ei häiriinny. Kaivantoon kertyvät sulamis- ja sadevedet johdetaan pumppauskuoppiin ja pumpataan pois.

3 TUETUT KAIVANNOT

Rakennuskaivanto on tuettava, jos luiskatun kaivannon vaatima tila on liian suuri tai varmuus luiskan sortumista vastaan on liian pieni kyseisessä maassa. Lisäksi tuetun kaivannon rakentaminen saattaa olla taloudellisempaa luiskatun kaivannon vaatimien suurten kaivu- ja täyttömassojen vuoksi. Kaivannon tukemisessa voidaan käyttää teräsponttiseiniä, settiseiniä tai kairvinpaalu- ja kaivantoseiniä. Lisäksi tukiseiniä voidaan käyttää suurpainetekniikalla valmistettuja sementti-injektoituja pilareita (jet grouting).

3.1 Työjärjestys

Yleensä tukiseinän rakentamisjärjestys on seuraava:

1. Luiskatun alkukaivannon tekeminen koko rakennusalueelle tai massanvaihtokaivu tukiseinän kohdalle mahdollisen täytteen läpäisemiseksi. Alkukaivannon kaivutaso ei saa ulottua liian lähelle pohjaveden pintaa.

2. Tukiseinän rakentaminen. Teräsponttien lyönti, settiseinän pystypalkkien lyönti tai kaivinpäälly- ja kaivantoseinän tekeminen. Tarvittaessa lähelle kallio pintaa ulottuvien teräsponttiseinien alapään tiivistysinjektointi.

3. Pohjaveden alennus tukiseinien sisältä.

4. Kaivannon kaivu ensimmäiselle tukitasolle. Tasauspalkkien rakentaminen, ankkureiden poraus, jänneterästen asennus ja ankkureiden jännittäminen tai sisäpuolisten tukien rakentaminen. Lisäksi mahdollisesti tarvittavien tukiseinän pohjattavien poraus ja asentaminen.

5. Kaivannon kaivu toiselle tukitasolle, kolmannelle tukitasolle jne. Tasauspalkkien rakentaminen, ankkureiden poraus, jänneterästen asennus ja ankkureiden jännittäminen tai sisäpuolisten tukien rakentaminen.

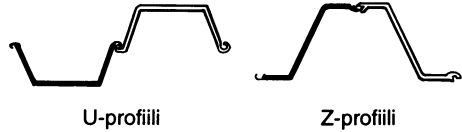
6. Kaivun ulottaminen kaivannon pohjalle. Jos teräsponttiseinä ei ulotu kallion pintaan ja kaivantoa louhitaan syvemmälle, on ponttiseinän alapää tiivistettävä juuripalkilla tai muulla betonirakenteella.

3.2 Tukiseinien rakentaminen

3.2.1 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseiniä käytetään tilapäisesti rakennuskaivantojen tukemiseen. Matalissa kaivannoissa (syvyys alle 3 m) käytetään kevyitä teräsponttilaatuja ja vastaavasti kaivantojen syvyyden kasvaessa käytetään raskaampia teräspontteja. Teräspontteja ponttilukkoihin lyötyinä käytetään erityisesti silloin, kun tukiseinältä vaaditaan vesitiivyyttä. Teräsponttien lyönti ei aina onnistu kiviseen tai tiiviiseen maahan ponniteja vaurioittamatta.

Teräsponttitukiseiniä käytetään harvoin lopullisen rakenteen osana. Pontit nostetaan ylös, kun lopulliset rakenteet on tehty sekä rakenteiden ja ponttiseinän välinen tila on täytetty. Teräsponttitukiseiniä voidaan käyttää valumuotti-



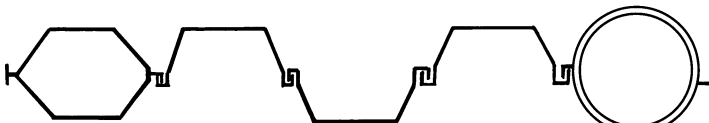
Kuva 5. Erityyppisiä teräsponttiprofiileja.

na anturoita, pohjalaattoja ja kellarin seinävallettaessa.

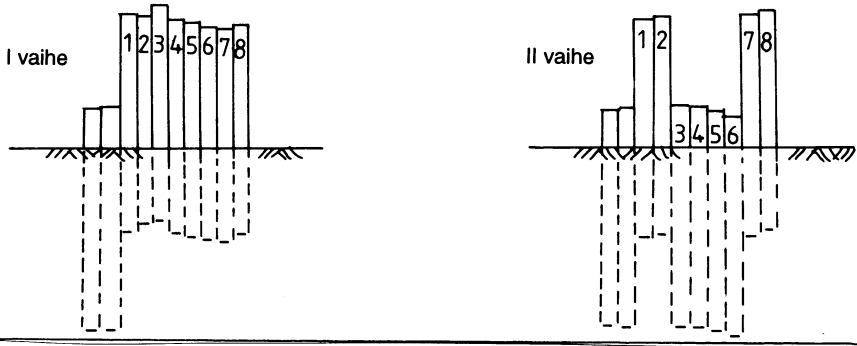
Teräsponttilankkuja on saatavissa useita eri tyyppisiä ja kokoja, kuten myös eri teräslatuja (kuva 5). Suurta pontin jäykkyyttä vaativissa tukiseinärakenteissa voidaan käyttää erikoislankkuja, kuten vastakkain hitsattuja U-profiileja tai yhdessä ponttilankkujen kanssa teräsputkipäälly (kuva 6). Teräsponttityypeistä ja niiden ominaisuuksista on tarkemmin kohdassa Metallit ja metallirakenteet, Teräspontit. Teräsponttilankkuja voidaan käyttää tilapäisissä seinissä useaan kertaan varsinkin, jos käyttökertojen välillä pontit puhdistetaan, kunnostetaan ja suojataan. Kunnostaminen helpottaa lyöntityötä ja valmis tukiseinä on laadultaan parempi.

Teräspontit lyödään maahan usein samantyyppisellä kalustolla kuin lyöntipäälly, hydraulisesti tai mekaanisesti toimivilla päällyntillä. Lisäksi teräspontteja voidaan upottaa maahan myös hydraulilla ja sähkötoimisilla tärjyntillä. Kaivinkoneisiin kiinnitettävien hydraulitoimisten tärjyntien (ponttivaraiden) käyttö on viime aikoina yleistynyt teräsponttien lyöntityössä. Tärjyntien etuna lyöntityössä on tarvittaessa suuremman iskunenergian lisäksi niiden aikaansaa-ma ponttien värähdysliike, joka pienentää ponttipintoihin kohdistuvaa vaippavastusta ja helpottaa ponttien maahan upottamista. Lisäksi ponttien nopea värähtely pienentää ympäristöön leviävän tärinän mahdollisia haittavaikutuksia. Kaivinkoneisiin kiinnitettävien tärjyntien haittapuolena voidaan pitää sitä, että niillä ei pystytä lyömään kovin pitkiä ponniteja (yli 9–10 m). Päällyskoneilla ja nosturilla riiputettavilla sähkötoimisilla tärjyntillä pystytään lyömään em. pitempiä ponniteja. Tärjyntiä käytetään toisaalta pelkästään teräsponttien nostotyössä.

Teräspontit on syytä lyödä ohjauskehysten



Kuva 6. Vastakkain hitsattujen U-profiilien ja teräsputkipäällyjen käyttö rinnan teräsponttien kanssa tukiseinärakenteissa.



Kuva 7. Teräsponttien lyönti ryhmittäin.

lävitse, jotta ne saataisiin pysymään halutussa suunnassa. Ponttien lyönnin tulee tapahtua aina keskeisesti ponttiin nähden ja pontin pituusakselin suuntaisesti. Paalujuttia käytettäessä keskeinen lyönti voidaan varmistaa rakentamalla junaan sopiva lyöntikappale, jonka avulla pystytään tarvittaessa lyömään kahta tai kolmea profiilia kerrallaan. Täryjunat on syytä puolestaan kiinnittää keskeisesti teräspontteihin.

Pontit voidaan lyödä yksitellen täyteen syvyyteen. Näin lyöty ponttiseinä pyrkii kallistumaan lyönnin etenemissuuntaan. Kallistumista voidaan ehkäistä lyömällä pontit ryhmissä ensin sellaiseen syvyyteen, että pontit pysyvät pystyssä. Seuraavassa vaiheessa lyödään ryhmän kaikki pontit täyteen syvyyteen siten, että ensin lyödään täyteen syvyyteen ryhmän keskellä olevat pontit ja sen jälkeen ryhmän reunoilla olevat ponttiparit (kuva 7). Ponttien vaiheittain lyönnissä joudutaan ponttilankut nostamaan ylempiä ja ohjaamaan niiden lukot edellisten lyötyjen ponttien lukkoihin ”yläilmoissa”. Työturvallisuussyistä on em. tarkoitukseen kehitetty erityisiä mekaanisia ohjauslaitteita niin, että apumiehen ei tarvitse kiivetä pontteja ohjaamaan. Ponttiseinän kallistumista voidaan myös ehkäistä käyttämällä apuna esimerkiksi vaijerikiristystä.

Teräspontit saadaan lyömällä tunkeutumaan syvyyteen, jossa painokairausvastus on 500–600 pk/m. Ponttien alapaiden jäädessä pehmeään savikerrokseen ja käytettäessä ankkurituontaa on huolehdittava siitä, että ankkurien kohdilla tukiseinää joko 2–3 ponttia tai jokin muu tuki lyödään sellaiseen syvyyteen, että pontit tai muu tuki kantavat ankkurivoiman pystykomponentin suuruisen kuorman. Teräspontteja ei saada lyödyksi kivisiin maalajeihin, vaan pontit yleensä pysähtyvät kiviin. Ponttien tunkeutumista voidaan jonkin verran helpottaa ennakkoporauksilla ja -räjäytyksillä. Samoin ponttien lyöntivastusta voidaan pienentää vesihuuhdelu-

la. Ponttilankut vääntyvät ja rikkoutuvat kivisessä ja lohkareisessa maassa. Mikäli kaivantoalueella on pintakerroksena kivinen ja lohkareinen täyttö, on ponttiseinän kohdalla tehtävä massanvaihto ennen ponttien lyöntiä. Näin estetään ponttien vääntyminen jo lyöntityön alkuvaiheessa ja varmistetaan tukiseinän onnistuminen. Lyöntiä ei kannata jatkaa, jos ponttien yläpäihin alkaa syntyä muodonmuutoksia.

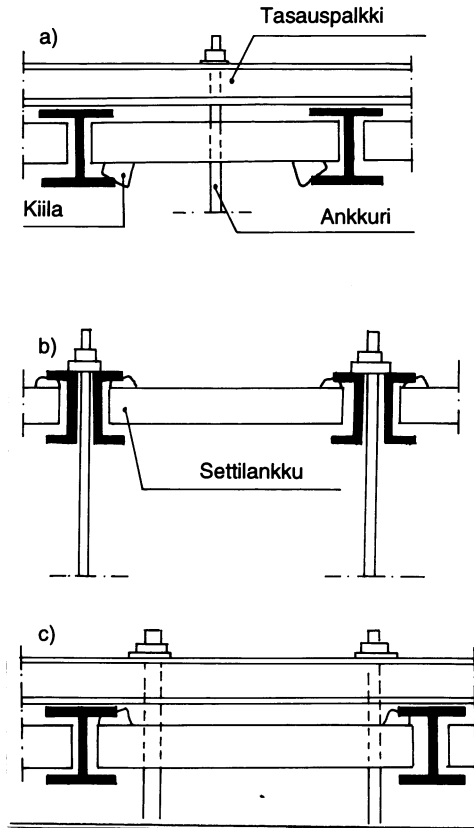
Teräsponttiseinien vesitiiviyys on yleensä hyvä. Pontteja ei saada useinkaan tunkeutumaan aivan kallioon asti, koska kallion päällä on usein kivisiä maalajeja. Ponttiseinän alapään tiivistämiseksi joudutaan usein tekemään joko ulkopuolista injektointia tai rakentamaan sisäpuolelle juuripalkki.

Kun rakennuskaivannon tulevat rakenteet ovat valmistuneet ja seinävierustäytöt on tehty, on yleensä mahdollista nostaa teräspontit ylös. Nostotyössä käytetään yleensä täryjunttia. Näin vältetään hienojakoisen maan nouseminen ylös ponttilankujen mukana. Nostettu pontti jättää maahan levyisensä raon, joka täyttyy ja aiheuttaa vastaavan painuman. Jos ponttiseinän läheisyydessä on vaurioille alttiita rakenteita tai rakennuksia, ei pontteja voida nostaa riskittömästi ylös, vaan ne on jätettävä maahan. Samoin ponttiseinien yläpuolelle on voitu tehdä uudisrakenteita, jotka estävät ponttien ylösnoston. Molemmat nostonajotukset on luonnollisesti esitettävä suunnitelmissa.

3.2.2 Settiseinät

Settiseinillä tuetaan väliaikaisesti sekä matalia että syviä kaivantoja kitkamaalajeissa. Settiseinät eivät ole vesitiiviitä ja sen vuoksi settiseinät soveltuvat käytettäväksi parhaiten pohjavedenpinnan yläpuolella. Syvissä kaivannoissa settiseinää käytettäessä joudutaan usein suorittamaan lisäksi pohjavedenalennus.

Settiseinät muodostuvat maahan pystysuoraan lyötävistä teräspalkeista ja niiden väliin



Kuva 8. Settiseinien kolme päätyyppiä.

vaakasuuntaan asennettavista settilankuista. Pystypalkkeina käytetään yleensä HE-palkkeja tai kahta toisiinsa liitettyä U-profiilia. Settilankut ovat tavallisesti puuhirsiä tai vanhoja rata-pölkkyjä. Setteinä voidaan käyttää myös betonielementtejä, teräksisiä kaivantosuojaprofiileja, ruiskubetonia tai vaihteittain paikalla valettuja betonirakenteita.

Pystysuorat profiilit lyödään maahan pudotusjärkälettä käyttäen Lyöntipaalutusohjeissa (LPO 87) teräspaaluille annettujen vaatimusten mukaisesti yleensä 1–3 m:n etäisyydelle toisistaan. Settiseinän mitoituksessa pystypalkkien pysty- ja vaakastabiileetti on usein kriittinen. Tämän vuoksi pystypalkit on lyötävä kantaviin maakerrokseen. Settiseinän tukeminen ankkurein suoritetaan pystypalkkien kohdalta tai käyttämällä ankkuripalkkeja kuormien välittämiseen (kuva 8).

Kivisessä ja lohkareisessa maaperässä pystypalkkeja ei pystytä yleensä lyömään riittävän tarkasti ja tarpeeksi syväälle. Tällöin on settiseinän pystypalkkeille tehtävä esireiät joko läpäisyputkella tai poraamalla.

Setit asennetaan välittömästi kaivun edistymisen mukaan. Kaivu suoritetaan pystyluiskaisena 1–3 setin korkuisena ja vain setin vaatiman tilan syvyisenä. Kerralla settitystä varten auki-kaivettavan luiskan korkeus riippuu maan koossapysyvyydestä. Settilankut kiilataan tiiviisti maata vasten pystypalkkien kohdalta. Settilankukujen taakse jäävä tai ryöstäytyvä tyhjätila on täytettävä välittömästi, koska tyhjätilan täyttyminen aiheuttaa painumia settiseinän takana ja painumat puolestaan saattavat vaurioittaa ympäristön rakenteita. Settiseinän taakse erityisesti kivisessä tai lohkareisessa moreenissa syntynyt tyhjätila voidaan täyttää valamalla betoniset settilankut paikalla tai käyttää settien asemasta ruiskubetonia. Jos settiseinä jää pysyväksi rakenteeksi, on setit syytä valaa betonista tai käyttää setitykseen teräksisiä kaivantosuojaprofiileja tai ruiskubetonia.

Puusteteistä tehdyt tukiseinät on lahoamisvaaran vuoksi yleensä purettava. Purku tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä 1–2 lankkua kerrallaan, jonka jälkeen suoritetaan välittömästi täyttö.

3.2.3 Kaivanto- ja kaivinpaaluseinät

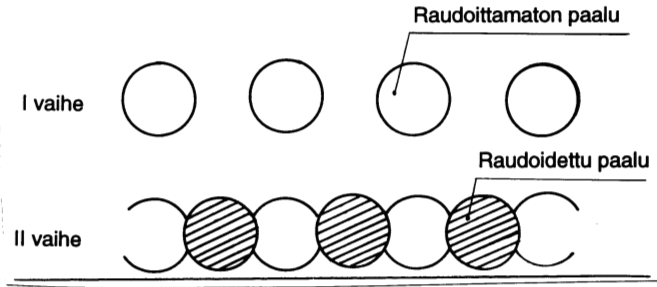
Kaivanto- ja kaivinpaaluseiniä kutsutaan yhteisnimityksellä patoseiniksi. Kaivantoseinät ovat maahan kaivettuun ja bentoniittilietteellä tuettuun kaivantoon tehtäviä betoniseiniä. Kaivinpaaluseinät muodostuvat toisiaan leikkaavista kaivinpaaluista.

Kaivanto- ja kaivinpaaluseinät toimivat pääsääntöisesti tulevan rakennuksen perustus- ja perusmuurirakenteina. Kaivanto- ja kaivinpaaluseinien rakentamisella pyritään rajoittamaan työaikaista tai pysyvää pohjavedenpinnan alenemistä, mistä syytä seinistä käytetään yhteisnimitystä patoseinät. Patoseinän toimiminen edellyttää, että kaivanto- ja kaivinpaaluseinät ulotetaan kallioon tai tiiviiseen moreeniin.

Kaivantoseiniä käytetään, kun joudutaan tukemaan syviä kaivantoja tai kun tukiseinältä vaaditaan vesitiiviyyttä. Patoseinien rakentaminen on yleensä kannattavaa vain, jos seinää voidaan käyttää osana pysyvää rakennetta. Patoseinät ovat huomattavan jäykkiä verrattuna muihin tukiseinätyyppihin. Seinien rakentaminen aiheuttaa ympäristössä vain vähän tärinää ja siirtymiä, jolloin ne soveltuvat käytettäväksi lähellä olemassaolevia rakenteita.

Patoseinien rakentaminen aloitetaan rakentamalla ensiksi ohjauspalkit. Ohjauspalkkien käyttö helpottaa seinän toleransseissa pysymistä ja varmistaa siten seinän laadun ja vesitiiviyyden.

Kaivinpaaluseinät rakennetaan toisiaan



Kuva 9. Kaivinpaaluseinän työjärjestys.

leikkaavista kaivinpaaluista, joiden halkaisijat ovat yleensä joko 900 mm tai 1200 mm ja vierekkäisten paalujen keskiöetäisyys on 0,7–0,85 kertaa paalun halkaisija. Erityisen syvissä kaivannoissa voidaan kaivinpaaluseinä jossakin kaivinpaaluista, joiden halkaisija on 1500 mm. Ensimmäisessä vaiheessa kaivetaan ja valetaan seinälinjalle joka toinen paalu raudoittamattomana. Toisessa vaiheessa raudoittamattomien paalujen väliin tehdään raudoitettut paalut, jotka leikkaavat osittain raudoittamattomia paaluja ja näin muodostuu yhtenäinen vesitiivis paaluseinä (kuva 9).

Paaluseinän paalut tehdään normaalilla kaivinpäälutekniikalla. Paalujen ulottuessa kallioon asennetaan raudoitettujen paalujen alapäihin kalliotapit, jotka porataan ja injektoidaan kiinni kallioon raudoitukseen kiinnitettyjen porausputkien läpi. Samassa yhteydessä tarkistetaan ja varmistetaan tarvittaessa injektoidamalla paalujen kalliokontaktit. Jos kaivinpaaluseinältä ei vaadita vesitiiviyttä, voidaan seinä rakentaa ainoastaan toisiaan sivuavista paaluista. Tällöin voidaan kaikki paalut raudoittaa.

Kaivinpaaluseinät tuetaan yleensä ulkopuolelta maa- ja kallioankkureilla. Ankkurit porataan yleensä raudoittamattomien paalujen lävitse.

Ankkurivoimien tasauspalkki valetaan tavallisesti seinän sisäpuolelle betonista. Kaivinpaaluja voidaan käyttää myös settiseinätyyppisenä rakenteena. Tällöin kaivinpaalujen väliin valetaan teräsbetoniseinä tai tehdään raudoitettu ruiskubetonikerros.

3.3 Seinien tuennan rakentaminen

Tukiseinät tuetaan joko kaivannon sisä- tai ulkopuolisilla tuennoilla. Tuentatapa määräytyy pääasiassa kaivannon syvyyden ja laajuuden perusteella. Muita tuentatavan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat rakennuspaikan pohjasuhteet, ra-

kentamisjärjestys, työtilan tarve ja kaivannon ympäristö sekä tuentatavan taloudellisuus.

3.3.1 Tukeminen kaivannon sisäpuolelta

Sisäpuolisena tuentana käytetään useimmiten vaakakutkia, jotka tukeutuvat vastakkaisiin seiniin.

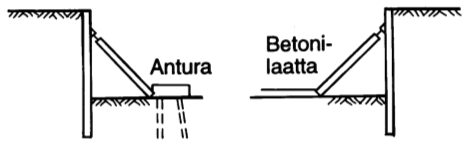
Laajoissa matalahkoissa kaivannoissa ja kaivannoissa, joiden alapuolella on paksut pehmeät maakerrokset, saattaa vinotukien käyttö olla edullista. Vinot tuet tukeutuvat alapäästään yleensä kaivannon keskelle tehtyihin betonirakenteisiin (kuva 10). Kaivannon keskellä oleviin rakenteisiin tukeutuvien vinotukien rakentaminen edellyttää kaivun ja rakenteiden tekemistä vaiheittain.

Tukiseinien kulmauksissa saattaa olla edullista käyttää sisäpuolisia kulmatukia (kuva 11), mikäli kaivantoon tulevat rakenteet sen tilan puolesta läpi.

Sisäpuolisesti tuetuissa kaivannoissa on varottava aina kuormittamasta tukia ripustuksilla tai varastoimalla tavaroita tukien päälle, ellei tukia ole suunniteltu kestävämmän näitä kuormia.

3.3.2 Tukeminen kaivannon ulkopuolelta

Laajat ja syvät rakennuskaivannot joudutaan yleensä tukemaan tukiseinän ulkopuolisilla ankkureilla. Mikäli kaivannon tukemiseksi riittää yksi tukitaso ja kaivannon ympäristö sen sallii,



Kuva 10. Tukiseinän tukeminen vinotuilla kaivannon pohjalta.

on yksinkertaisin tapa käyttää ankkuroinnissa vaakasuoria vetotankoja, jotka kiinnitetään riittävän kauaksi tukiseinän taakse rakennettuun ankkurilaattaan tai lyötyihin teräsponteihin (kuva 12).

Käytettäessä vaakasuuntaista vetotankotuen- ta on huolehdittava siitä, että vetotankojen päälle ei kasata kuormaa niin, että vetotangot taipuvat.

Jos tukiseinän on tuettava usealta tasolta, käytetään poraamalla tehtyjä ja injektioimalla kiinnittyviä ankkureita. Näitä ankkureita on kahta tyyppiä: injektioimalla maahan tai kallioon kiinnittyvät ankkurit. Maa- ja kallioankkureissa käytetään esijännitysteräksiä, vetotankoja tai vajjeripunoiksi (kuva 13).

Maa- ja kallioankkurit tehdään porakonekai- rauksen avulla. Maa- ja kallioankkureiden käyt- tö edellyttää aina pohjatutkimusten tekemistä kaivannon ulkopuolella ankkurointivöhyk- keellä. Tilapäisiä maa-ankkureita varten pora- taan maahan maaputkiporauksena reikä. Rei- kään asennetaan jänneteräkset, teräkset injektoidaan tartuntapituuden osuudelta ja porausputki vedetään pois. Tilapäisiä kallioankkureita var- ten porataan maahan maaputkella reikä ja jatke- taan porausta kruunulla tartuntapituuden verran ehjään kallioon. Reikään asennetaan jänneteräk- set, teräkset injektoidaan kallio-osuudelta ja po- rausputki vedetään pois. Pysyvissä maa- ja kal- lioankkureissa asennetaan jänneterästen korro- siosuojaukseksi muoviputket ja terästen ja put- kien väli injektoidaan.

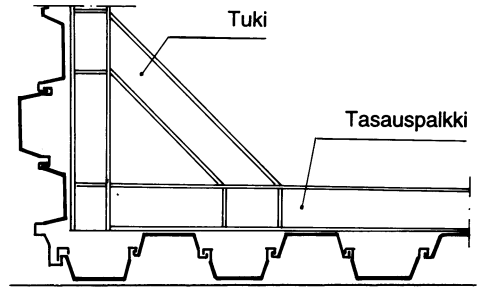
Ankkurit asennetaan yleensä 30–45 asteen kulmaan. Ankkureita ei kannata sijoittaa kovin jyrkkään kulmaan, koska ankkurivoima aiheut- ta tukiseinälle tällöin suuren pystysuuntaisen kuormituksen. Niinpä tukiseinän pystysuuntais- ta kantokyvystä tulee varmistua.

Kaivannon sisäpuoliset tasauspalkit (ankkuri- palkit) tehdään tavallisesti U- tai HE-profiileista (kuva 14). Ankkurien riittävästä tartunnasta var- mistutaan suorittamalla koeveto. Jos kaivanto- tai kaivinjaaluseinille on tarpeen rakentaa ta- sauspalkit, ne valetaan yleensä betonista.

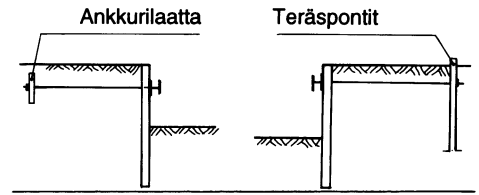
Tukiseinän ja ankkurien mitoitus määräytyy yleensä kaivutyön aikaisten kuormitusten perus- teella. Kaivutyö tulee suorittaa vaiheittain tuki- tasolta toiselle. Edellisen tukitason ankkureiden jännittämisen jälkeen kaivu ulotetaan seuraavalle tukitasolle. Joskus voidaan tilavuuskaivun taso joutua jättämään ylemmäksi kuin millä ta- solla tukitaso on. Tällöin kaivetaan ankkuripal- kin kohdalle erillinen syvennys.

3.3.2 Seinien alapaiden tukeminen

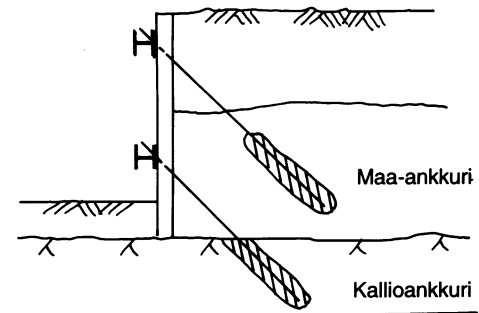
Tukiseinän kaivutason alapuolista osaa tukee maassa passiivinen maanpaine. Tästä tuentatyy- pistä on hyvänä esimerkkinä ankkuroimaton eli vapaasti seisova tukiseinä. Vapaasti seisovaa tu- kiseinää voidaan käyttää vain, mikäli kaivusy-



Kuva 11. Sisäpuolinen kulmatuki.



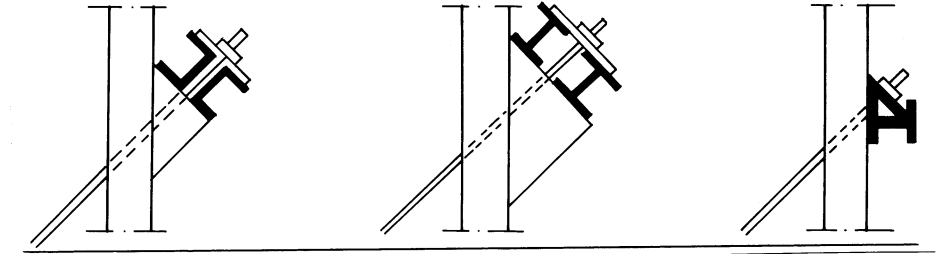
Kuva 12. Ulkopuolinen tuenta ankkurilaattaan tai teräsponnteihin.



Kuva 13. Tukiseinän ankkurointi maa- ja kal- lioankkurein.

vyys on pieni. Tukiseinän alapään tukeutumista maakerrokseen käytetään hyväksi myös syvem- missä kaivannoissa, joissa tukiseinän yläpää on tuettu ankkurein.

Jos maakerrokseen tukeutuvaksi aiotun tuki- seinän vaakastabiileetti ei tule riittäväksi, on yleensä edullista ulottaa tukiseinän alapää sy-



Kuva 14. Teräsponttiseinän sisäpuoliset ankkuripalkit.

vemmälle maakerrokseen tai aina kallion pintaan, jolloin tukiseinän alapää on tuettava kallioon. Tukiseinän alapään tukeminen kallioon tapahtuu kalliotappien avulla (kuva 15): Kalliotappien asennus tapahtuu yleensä teräspontteihin, settiseinän pystypalkkeihin tai kaivinpäällyksen ja kaivantoseinien raudoitukseen kiinnitettyjen asennusputkien kautta. Asennusputkien alapää täytetään noin 0,5 m:n matkalta betonilla, jotta asennusputket eivät lyötyessä litistyisi niin, että niiden lävitse ei enää onnistuttaisi poraamaan kalliotapeille asennusreikiä. Tapit porataan yleensä noin 0,5–1,0 m:n syvyyteen kallioon ja tappien halkaisija on 50–100 mm. Kalliotapit siirtävät niille tulevat leikkausvoimat vain, jos teräspontit ja settiseinän pystyprofiilit ulottuvat riittävän lähelle kallion pintaa. Mikäli pontit tai pystyprofiilit eivät ulotu tarpeeksi lähelle kalliota, on tukiseinän alapäähän rakennettava juuripalkki leikkausvoimien siirtämiseksi. Juuripalkkien rakentamisen aikana on huolehdittava tukiseinän alapäähän kohdistuvien voimien siirtämisestä joko väliaikaisilla tuenoilla tai vaihteittai-

sella rakentamisella. Juuripalkkien rakentamisella voidaan myös tiivistää tukiseinän ja kallion välisiä saumakohtia pohjaveden virtauksen ja alenemisen estämiseksi.

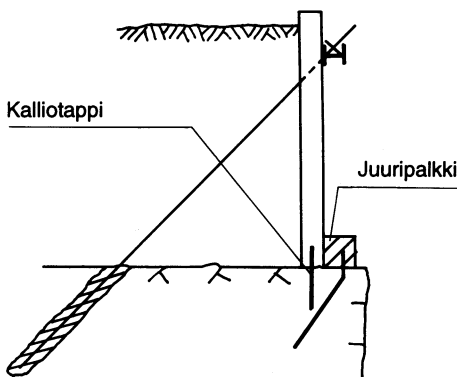
3.4 Kaivannon kuivanapito

Kaivannon kuivanapitotapa tulee tietää jo tukiseinän mitoituksen yhteydessä, koska sillä on vaikutusta seinää kuormittaviin maan- ja vedenpaineesiin. Kaivannon kuivanapidossa on näin noudatettava tehtyä suunnitelmaa. Jos suunnitelma edellyttää pohjavedenpinnan alentamista tietyille tasoille ennen kaivuvaiheita, on kulloinkin pohjavedenpinnan taso todettava havaintoputkista. Jos taas suunnitelmassa on edellytetty pohjavedenpinnan taso säilytettäväksi tietyllä tasolla, on pohjavedenpinnan tason säilyminen todettava havaintoputkista.

Pohjavedenpintaa voidaan alentaa pumpaamalla tyhjiöpumpulla siiviläkärjistä tai kärkeammassa maakerroksissa siiviläkaivoista. Pohjavedenpintaa alennettaessa on syytä tarkkailla vedenpinnan aleneman ja pumpatun vesimäärän lisäksi myös pumpatun veden kirkkautta. Jos pumpausveteen on sekoittunut maan hienoinen, se on merkki siitä, että jossain maakerroksessa tapahtuu eroosiota. Eroosio aiheuttaa puolestaan painumista ja tätä kautta syntyy vaurioita. Kun käytetään tyhjiöpumppausta siiviläkärjistä, tulee tyhjiöpumppu ja siiviläkärkien välinen kokoojaputki sijoittaa kaivannossa mahdollisimman alas, jotta pumppausteho olisi paras mahdollinen.

Jos suunnitelma edellyttää pohjavedenpinnan säilyttämistä ympäristössä tietyllä tasolla, tulevat tukiseinäratkaisuina kysymykseen kaivinpäällyksen ja kaivantoseinän ja tarpeeksi syvälle moreenikerrokseen ulottuvat teräsponttiseinät.

Kaivantojen stabiiliteetin ollessa riippuvainen pohjaveden alentamisesta on työmaalle järjestettävä päivystys pumpppauksen ajaksi. Kaivantoon valuvat pinta-, sade- ja mahdolliset sulamisvedet poistetaan kaivannosta pumpppauskuopista pumpaamalla.



Kuva 15. Kalliotapit ja juuripalkki.

3.5 Louhinta kaivannossa

Louhinta saattaa aiheuttaa ympäristössään huomattavaa tärinää. Louhintätärinä puolestaan taas kasvattaa tukiseinään kohdistuvaa maanpainetta. Tämä vuorostaan aiheuttaa tukiseinän sortumisriskin. Louhintasuunnitelmissa on tärinärajat asetettava niin, että maanpaineen kasvaminen ei aiheuta seinälle sortumisriskiä. Tärinävaikutusta voidaan pienentää suuremmissa kaivannoissa myös kaivutyötä sopivasti vaiheistamalla.

Kun tukiseinä ulottuu kallioon ja louhinta jatkuu tukiseinän vierestä syvemmälle, on louhinta suunniteltava siten, että tukiseinän pystystabiili-teetti pysyy koko louhinnan ajan riittävänä. Tukiseinän alapuolinen kallio ei saa lohjeta tai sortua. Louhintätärinälle on asetettava sopivat arvot ja useasti joudutaan tukiseinän alapuolista kalliota lujittamaan. Louhinta suoritetaan tarkkuuslouhintana ja lujitustoimenpiteinä tulevat kysymykseen kallioon pultattu juuripalkki, kallioseinä-män pultitus tai ankkurointi sekä edellisten lisäksi seinämän ruiskubetonointi (kuva 15).

4 TYÖTURVALLISUUS KAIVANTOTÖISSÄ

Kaivantotöiden sujumiseen vaikuttavat työturvallisuuden kannalta ratkaisevasti hyvä toteutussuunnitelma ja sen tinkimätön noudattaminen. Kaivannot tulee suunnitella ja rakentaa niin, että tukiseinien mahdollisista siirtymisistä ei aiheudu riskejä ympäristön rakenteille tai kaivantoon tuleville rakenteille. Hyvällä suunnittelulla ja huolellisella rakentamisella voidaan ehkäistä myös kaivannon luiskien ja tukiseinien sortumavaaraa ja näin varmistaa kaivannon työturvallisuus. Työturvallisuuden kannalta yksi tärkeimmistä tekijöistä kaivantotöissä on työmaaliikenteen suunniteltu kulku kaivantoon ja kaivannosta pois sekä kaivannon sisällä.

Huolellisesta suunnittelusta huolimatta kaivannon rakentamiseen liittyy paljon työturvallisuusriskejä:

Kaivannon luiskien ja tukiseinien sortumavaaraa lisäävät kuormitukset, joita ei ole otettu suunnittelussa huomioon. Näitä lisäkuormituksia ovat kaivannon reunalla liikkuvien työkoneiden tai nosturien kuormat sekä reunalle tai tukirakenteiden varaan varastoidut tavarat.

Erilaisten esineiden putoaminen ja vieriminen kaivantoon. Erityisen vaarallisia ovat luiskasta irtoavat ja vierivät kivet. Tuetuissa kaivannoissa tulee tukiseinän ulottua tarpeeksi maanpinnan tai luiskan yläpuolelle niin, että kaivantoon ei pääse putoamaan tai vierimään mitään esineitä.

Kaivannon sisäpuolella suoritettavat kaivu-, paalutus- ja louhintatyöt voivat aiheuttaa kai-

vannon sortumisriskin. Kaivutyöt, esim. syvennysten kaivu, on suoritettava niin, että stabiili-teetti kaivannon sisäpuolella säilyy. Samoin paalutuksen aiheuttama huokosvedenpaineen nousu ja tärinä voivat vaarantaa kaivannon vaakastabiiliiteetin. Kaivannon louhiminen tukiseinän alareunasta alaspäin voi pienentää tukiseinän pystystabiili-teettiä. Louhintätärinä voi puolestaan aiheuttaa tukiseinään kohdistuvan lisäkuormituksen, joka voi olla riskitekijä seinän stabiili-teetille.

Muutokset pohjavesiolosuhteissa voivat aiheuttaa turvallisuusriskin. Näitä muutoksia olosuhteissa voivat aiheuttaa kaivantotöiden aikana muuttuvat suunnitelluista poikkeavat pohjavesitasot tai suunnitellusta poikkeava pohjavesien käsittely.

Tukiseinien jääminen kokonaan hienorakeisiin pehmeisiin maakerroksiin aiheuttaa sen, että kaivannon kokonaisstabiili-teettiin liittyvät riskit ovat suuret. Vaikka stabiili-teetin riittävyys tässäkin tapauksessa voitaisiin laskelmin osoittaa, voivat siirtymät muodostua niin suuriksi, että ne vaarantavat tukiseinän stabiili-teetin ja muodostavat työturvallisuusriskin.

5 SUUNNITELLUN TOIMINNAN VARMISTAMINEN

Kaivantotöiden sujuminen suunnitelmien mukaan varmistetaan seuraavasti:

- Noudatetaan pohjarakennussuunnitelmassa annettua työjärjestystä. Työjärjestyksen noudattamisella varmistetaan siitä, että suunnitelman perustana olleita mitoituskuormituksia ei ylitetä.
- Huomioidaan suunnitelmasta poikkeavat pohjasuhdehavainnot. Urakoitsijan tulee tehdä havaintoja pohjasuhteista työn aikana ja ilmoittaa havaitsemistaan muutoksista suunnittelijalle.
- Suoritetaan pohjarakennussuunnitelmassa edellytetyt tarkkailumittaukset ja tallennetaan mittaustulokset pöytäkirjoihin. Suunnitelmassa tulee olla maininta seuraavien mittausten suorittajista:
 - tukiseinän siirtymämittaukset
 - pohjavedenpinnan havaintomittaukset
 - ympäröivien rakenteiden painuma- ja siirtymämittaukset
 - ympäristön rakenteiden tärinämittaukset.

Kirjallisuutta

- [1] RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohje
[2] RIL 166 Pohjarakenteet, käsikirja